

УДК 533.9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ ПРИТЯЖЕНИЯ МЕЖДУ ЧАСТИЦАМИ ПЫЛИ В ЗАПЫЛЕННОЙ ПЛАЗМЕ

А. В. Дубинов¹, В. С. Жданов¹, А. М. Игнатов,
С. Ю. Корнилов¹, С. А. Садовой¹, В. Д. Селемир¹

Проведены экспериментальные исследования с целью определения сил притяжения диэлектрических частиц пыли в плазме. Измерен эффект притяжения свободно висящих в гравитационном поле Земли тонких стеклянных нитей и лавсановых пленок в зависимости от разрядного тока. Установлено, что в условиях нашего эксперимента притяжение нитей имеет магнитную природу, а притяжение пленок обусловлено геометрическим эффектом затенения.

Известно, что при определенных условиях в запыленной плазме микрочастицы пыли формируются в упорядоченные структуры (так называемые плазменно-пылевые кристаллы) [1 – 3]. Так как в плазме микрочастицы могут приобретать электрический заряд только одного знака, как правило, отрицательного, то на расстояниях, меньших дебаевского радиуса, они должны отталкиваться вследствие кулоновского взаимодействия. Однако помимо отталкивания, на больших расстояниях должны существовать механизмы притяжения между микрочастицами пыли, удерживающие плазменно-пылевой кристалл от распада. Поиску этих механизмов и экспериментальному определению сил притяжения посвящена настоящая работа.

Очевидно, что проводить измерения непосредственно с частицами пыли (0-мерные объекты) вследствие их малости затруднительно. Поэтому в данной работе для измерений были выбраны их 1- и 2-мерные аналоги: тонкие диэлектрические нити и тонкие диэлектрические пленки.

¹Российский Федеральный Ядерный Центр – ВНИИ экспериментальной физики, г. Саров (Арзамас-16).

Для экспериментов использовалась тонкостенная стеклянная камера диаметром 18 см, в которой в межэлектродном промежутке длиной 70 см поддерживался стационарный тлеющий разряд постоянного тока. Измерения проводились в двух вариантах расположения камеры.

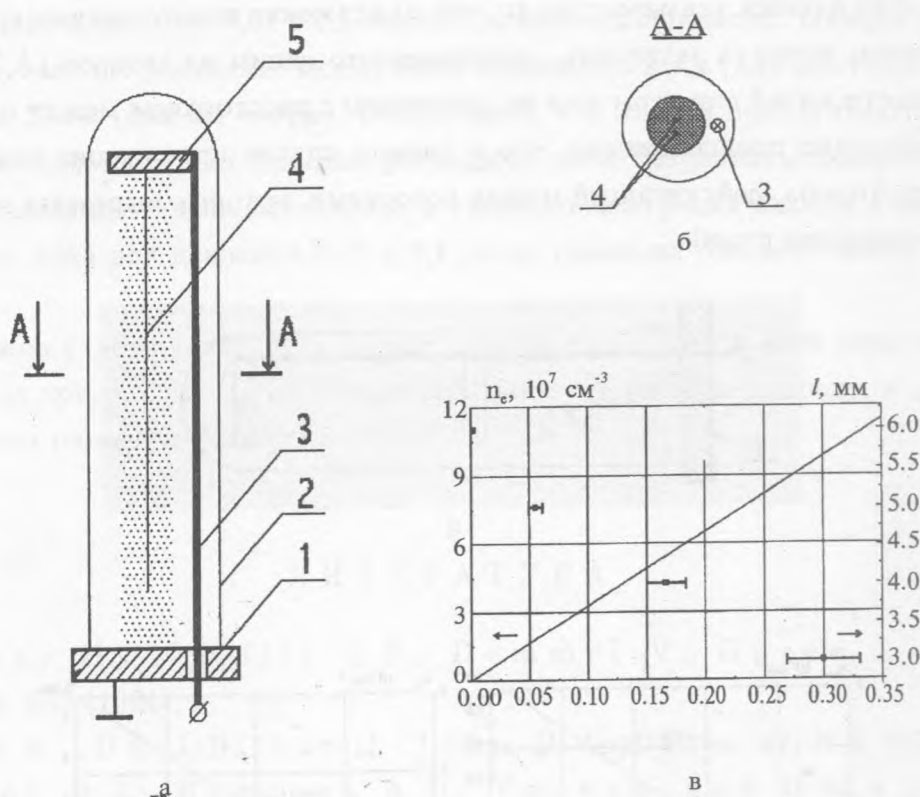


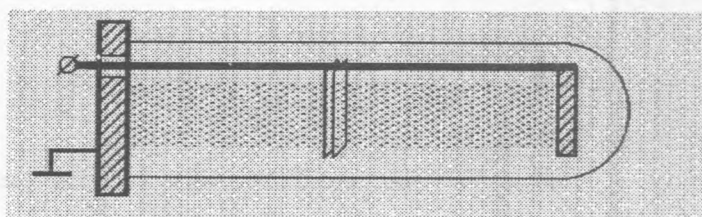
Рис. 1. Стеклянные нити в вертикально расположенной камере: а) схема измерений; б) сечение камеры; 1 - заземленный электрод; 2 - стеклянная камера; 3 - обратный токопровод; 4 - стеклянные нити; 5 - высоковольтный электрод; в) результаты измерений: концентрация электронов n_e и расстояние между нитями l в зависимости от разрядного тока.

В первом варианте камера располагалась вертикально (рис. 1а). Внутри камеры при давлении воздуха в камере примерно 0,1 торр в области положительного столба разряда подвешивались две тонкие нити длиной 45 см, вытянутые из разогретого лабораторного стекла. Диаметр одной из нитей составлял 90 мкм, другой - 140 мкм. Нижние незакрепленные концы нитей отстояли друг от друга на расстоянии 6 мм. Поперечное сечение камеры в области свободных концов нитей показано на рис. 1б.

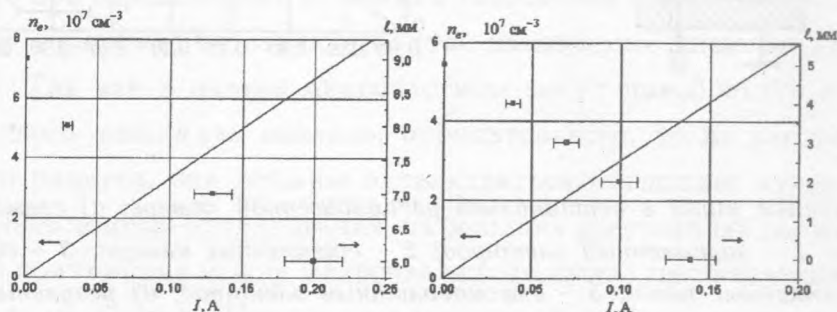
Было установлено, что при включении разряда нити заметно притягиваются, причем сила притяжения тем больше, чем больше разрядный ток. На рис. 1в представлены результаты измерений расстояния между концами нитей в зависимости от разрядного тока, там же представлена зависимость концентрации электронов плазмы от тока, которая измерена с помощью двойного зонда.

Анализ этих данных указывает на то, что притяжение между нитями вряд ли является следствием эффекта затенения, предложенного одним из авторов (А.М.И.) [4, 5], так как диаметр нитей слишком мал по сравнению с расстоянием между ними.

Было высказано предположение, что в данном случае притяжение между нитями обязано силе Ампера, действующей между полостями, которые вырезают нити в токонесущем плазменном столбе.



а



б

в

Рис. 2. Пленки в горизонтальной камере: а) схема измерений; б) результаты измерений при давлении 0,01 торр; в) результаты измерений при давлении 0,1 торр; обозначения те же, что и на рис. 1.

Для проверки этого предположения были выполнены измерения при другом варианте расположения камеры, когда нити располагались перпендикулярно направлению

разрядного тока, для чего камера располагалась горизонтально (рис. 2а). В этом случае заметного притяжения между нитями обнаружено не было. Этим подтверждается магнитная природа притяжения нитей в первом варианте расположения камеры.

Для увеличения эффекта затенения в дальнейшем нами использовались тонкие лавсановые пленки толщиной 10 мкм. Длина пленок – 10 см, ширина – 8 мм. Измерения проводились при давлениях 0,01 и 0,1 торр. Пленки подвешивались поперек разряда по схеме рис. 2а, так, что расстояние между ними составляло 9 мм (для опытов с давлением 0,01 торр) и 5 мм (для 0,1 торр). Обнаружено, что пленки притягиваются, причем величина притяжения растет с ростом разрядного тока. Результаты измерений расстояния между свободными концами пленок, а также концентрации плазмы в зависимости от разрядного тока для давлений 0,01 и 0,1 торр показаны соответственно на рис. 2б и 2в.

Итак, можно утверждать, что в наших экспериментах по крайней мере проявились два механизма притяжения, один из которых имеет магнитную природу, а другой связан с эффектом геометрического затенения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Thomas H., Morfill G. E., Demmel V., Goree J. Phys. Rev. Lett., **73**, 652 (1994).
- [2] Chu J. H., Du J.-B., Lin I. J. Phys. D: Appl. Phys., **27**, N 2, 296 (1994).
- [3] Фортков В. Е., Нефедов А. П., Торчинский В. М. и др. Письма в ЖЭТФ, **64**, N 2, 86 (1996).
- [4] Игнатов А. М. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 1-2, 58 (1995).
- [5] Игнатов А. М. Физика плазмы, **22**, N 7, 648 (1996).

Институт общей физики РАН

Поступила в редакцию 16 апреля 1997 г.